

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

Д. В. ДЯДІН

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

ІНЖЕНЕРНІ АСПЕКТИ ЛІТОЕКОЛОГІЇ

*(для студентів 4 курсу денної форми навчання
за напрямом підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього
середовища та збалансоване природокористування»)*

Харків – ХНУМГ – 2013

Дядін Д. В. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Інженерні аспекти літоекології» (для студентів 4 курсу денної форми навчання за напрямом підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування») / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; – Х.: ХНУМГ, 2013. – 28 с.

Рецензент: д. т. н., проф. Ф. В. Стольберг

Рекомендовано кафедрою інженерної екології та екологічної безпеки міст, протокол № 1 від 31.08.2012 р.

Зміст

Вступ	4
1. Інженерно-геологічна характеристика ґрунтів	5
1.1 Принципи інженерно-геологічної класифікації порід	5
1.2 Класифікація дисперсних ґрунтів за зерновим складом	6
1.3 Мінералогічний склад дисперсних ґрунтів.....	7
1.4 Гранулометричний склад роздільно-зернистих ґрунтів	10
1.5 Водні властивості ґрунтів	11
1.6 Небезпечні явища у зв'язку з підвищенням вологості ґрунтів	12
1.7 Суфозійні явища в роздільно-зернистих (незв'язних) ґрунтах	15
1.8 Коротка характеристика біогенних ґрунтів	19
1.9 Коротка характеристика техногенних штучних ґрунтів	20
2. Використання ґрунтів у будівництві	24
2.1 Методи технічної меліорації ґрунтів	24
2.2 Меліорація порід із жорсткими зв'язками	24
2.3 Меліорація порід без жорстких зв'язків	25
Список рекомендованих джерел	27

ВСТУП

Під час будівництва та експлуатації промислових, гідротехнічних та цивільних споруд, розробки родовищ корисних копалин виникають небезпечні геологічні процеси і явища, пов'язані з різними деформаціями в породах підґрунтя або в масиві ґрунтових споруд. Їхнім наслідком може бути не тільки руйнування споруд і відповідні економічні збитки, але й людські жертви.

Встановлено, що прояв цих небезпечних геологічних процесів значною мірою обумовлений розвитком на ділянках інженерно-геологічної діяльності певних різновидів гірських порід, особливостями їхнього складу, будови, ступенем обводнення. Інженерно-геологічні властивості гірських порід є предметом дослідження такої галузі геологічних дисциплін, як ґрунтознавство.

Метою дисципліни є ознайомлення студентів із базовими положеннями ґрунтознавства, основними методами оцінки якості гірських порід як ґрунтів, прийомами технічної меліорації та екологічними аспектами використання штучних ґрунтів у будівництві.

1. ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ҐРУНТІВ

Ґрунтами (рос. – «*грунтами*») називають будь-які гірські породи, що залягають у поверхневій частині земної кори, і сучасні відклади, які досліджують як об'єкт інженерної діяльності людини і використовують як основу, середовище або матеріал для зведення споруд. Наприклад, піщані й глинисті породи палеогенового віку на території м. Харків у багатьох випадках служать основою для зведення будинків, є середовищем, в якому розміщуються споруди метрополітену, можуть бути матеріалом, з якого влаштовують підсипання основ чи зводять дамби.

Стосовно до цієї функції гірських порід розроблена певна система понять, на якій ґрунтується їхня класифікація, і показників, за якими оцінюється їхня якість.

1.1 ПРИНЦИПИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ПОРІД

В основу інженерно-геологічної класифікації порід покладено тип внутрішніх зв'язків між частинками, що їх складають. За цією ознакою породи розділяють на дві великі групи: скельні з жорсткими кристалізаційними або цементаційними зв'язками і нескельні, в яких такі зв'язки відсутні. Нескельні породи, які називаються також дисперсними, розділяють на зв'язні й незв'язні.

Зв'язні породи характеризуються оборотними, переважно водно-колоїдними зв'язками між частинками. У роздільно-зернистих породах між частинками, що їх складають, зв'язок здійснюється за рахунок сил тертя і так званого зчеплення, пов'язаного з нерівностями поверхні зерен або їхньою шорсткістю.

Класифікацію ґрунтів, передбачену стандартом ДСТУ Б В.2.1-2-96 «Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація», у спрощеному вигляді ілюструє табл. 1.1.

До скельних порід відносять усі магматичні й метаморфічні породи, а також деякі осадові породи: біогенні, хемогенні й зцементовані уламкові. Перетворені в природному заляганні породи утворюють групу штучних ґрунтів цього класу.

Клас нескельних ґрунтів поєднує пилувато-глинисті, піщані, великоуламкові незцементовані породи, а також родючі ґрунти (рос. – «*почвы*»), мули, торф та інші біогенні утворення.

Таблиця 1.1 – Схема інженерно-геологічної класифікації порід

Таксоном. підрозділ	Тип структурних зв'язків і генезис															
Клас	Скельні (з жорсткими зв'язками)								Нескельні (без жорстких зв'язків)							
Група і підгрупа	Магматичні		Метаморфічні			Осадові		Штучні	Крупноуламкові	Піщані	Пилувато-глинисті	Біогенні (мули, сапропелі, торф)	Ґрунти	Штучні		
	Інtruзивні	Ефузивні	Регіональні	Контактні	Динамічні	Уламкові	Біохімічні							Хімічні	Ущільнені природні	Насипні
Тип	Виділяється за петрографічним, гранулометричним складом, його однорідністю, числом пластичності															
Вид	Виділяється за структурою, текстурою, складом цементу, щільністю, будовою, відносним вмістом та ступенем розкладу органічної речовини, способу перетворення															
Різновид	Виділяється за фізичними, хімічними властивостями і станом															

Група штучних ґрунтів включає насипні, намівні й ущільнені в природному заляганні.

Кожна з цих груп має свої характерні ознаки. Перелік характеристик, за якими здійснюється оцінка якості ґрунтів різних груп, визначається нормативними документами. Кількісна оцінка цих властивостей дозволяє прогнозувати поведінку порід при впливі природних факторів та об'єктів техносфери. Проектування будівельних об'єктів виконується з урахуванням складеного прогнозу.

1.2 КЛАСИФІКАЦІЯ ДИСПЕРСНИХ ҐРУНТІВ ЗА ЗЕРНОВИМ СКЛАДОМ

Найважливішою характеристикою дисперсних порід є їхній зерновий, або гранулометричний склад.

Для піщаних і великоуламкових порід в інженерній геології прийнята класифікація, яка наведена в табл. 1.2.

У класифікації пилувато-глинистих порід визначальною ознакою є вміст глинистої фракції з розміром частинок менше 0,005 мм, що визначає їхню пластичність. У власне глинах вміст глинистих часток перевищує 30 %, у суглинках складає від 10 до 30 % і в супісках від 35 до 10 %. Суглинки, в свою чергу, під-розділяються на важкі, середні й легкі при вмісті глинистої фракції більше 20, 15 і 10 % відповідно (табл. 1.3 Таблиця).

Додатковою класифікаційною ознакою є співвідношення між вмістом у суглинках пилуватих та піщаних частинок. Якщо вміст пилуватих частинок перевищує кількість піщаних, порода одержує додаткову назву «пилувата». Так, при вмісті частинок глинистої фракції 17, пилуватої – 50 і піщаної 33 % порода дістає назви середнього пилуватого суглинку.

Таблиця 1.2 – Інженерно-геологічна класифікація роздільно-зернистих (незв'язних) ґрунтів

Найменування ґрунту	Розмір частинок, мм	Вміст, %
Великоуламкові ґрунти:		
Валунний (бриловий)	Крупніше 200	> 50
Гальковий (щебенистий)	Крупніше 10	> 50
Гравійний (жорстковий)	Крупніше 2	> 50
Піщані ґрунти:		
Гравелистий	Крупніше 2	> 25
Крупно піщаний	Крупніше 0,5	> 50
Середньої крупності	Крупніше 0,25	> 50
Дрібно піщаний	Крупніше 0,1	≥ 75
Пилуватий	Крупніше 0,1	< 75

Таблиця 1.3 – Класифікація пилувато-глинистих (зв'язкових) ґрунтів

Найменування ґрунту	Вміст фракцій, %		
	глинистих (<0,005 мм)	пилуватих (0,005-0,05 мм)	піщаних (0,05-2 мм)
Глина	Більше 30	Менше, ніж піщаних	Більше, ніж пилуватих
Глина пилувата	Більше 30	Більше, ніж піщаних	Менше, ніж пилуватих
Суглинок важкий	30-20	Менше, ніж піщаних	Більше, ніж пилуватих
Суглинок важкий пилуватий	30-20	Більше, ніж піщаних	Менше, ніж пилуватих
Суглинок середній	20-15	Менше, ніж піщаних	Більше, ніж пилуватих

Найменування ґрунту	Вміст фракцій, %		
	глинистих (<0,005 мм)	пиловатих (0,005-0,05 мм)	піщаних (0,05-2 мм)
Суглинок середній пиловатий	20-15	Більше, ніж піщаних	Менше, ніж пиловатих
Суглинок легкий	15-10	Менше, ніж піщаних	Більше, ніж пиловатих
Суглинок легкий пиловатий	15-10	Більше, ніж піщаних	Менше, ніж пиловатих
Супісок	10-3	Менше, ніж піщаних	Більше, ніж пиловатих
Супісок пиловатий	10-3	Більше, ніж піщаних	Менше, ніж пиловатих
Пісок	Менше 3	Перевага піщаних часток над пиловатими	

1.3 МІНЕРАЛОГІЧНИЙ СКЛАД ДИСПЕРСНИХ ҐРУНТІВ

Мінералогічний склад є одним з найважливіших факторів, що визначають властивості порід.

Мінерали, з яких складаються пиловато-глинисті й піщані ґрунти, підрозділяють на первинні і вторинні.

До первинних мінералів відносять мінерали магматичних порід, що не зазнали в процесі вивітрювання істотних змін: кварц, польові шпати, слюди. Вони можуть складати велику частину маси уламкових зерен піщаних ґрунтів і визначати в основному їхні фізико-механічні властивості. У невеликій кількості в їхньому складі присутні темноколірні й рудні мінерали (піроксени, рогова обманка, олівін, магнетит та ін.).

Вторинні мінерали є продуктами вивітрювання магматичних гірських порід і основною складовою частиною пиловато-глинистих (зв'язних) ґрунтів. Характерною рисою цих мінералів є висока дисперсність, тобто малі розміри частинок, що визначає високий потенціал поверхневої енергії глинистих ґрунтів і схильність до розвитку явищ, характерних для колоїдних систем.

Ця група представлена в основному глинистими мінералами, оксидами і гідроксидами заліза і алюмінію, а також новоутвореннями кремнезему.

Глинисті мінерали відносяться до силікатів, основним елементом структури яких є кремнекисневий тетраедр (тобто атом кремнію в оточенні чотирьох атомів кисню, що займають позиції у вершинах тетраедра, рис. 1.1). Цей елементарний осередок характеризується певними просторовими параметрами і негативним електричним зарядом, що компенсується катіонами кальцію, магнію, заліза, алюмінію та ін. Просторова комбінація цих катіонів з іонами кисню визначається як октаедр.

Завдяки близькості розмірів іонних радіусів і зарядів можливе взаємне заміщення іонів деяких елементів у тетраедрах і октаедрах. Місце кремнію в тетраедрі часто займає алюміній, який, однак, може займати й октаедричну позицію. Серед катіонів часто спостерігається ізоморфне заміщення в ряді іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} . Виникаюча при ізоморфних заміщеннях незбалансованість зарядів обумовлює додаткову енергію мінеральних частинок.

Структура силікатних мінералів створюється певною комбінацією тетраедрів, що можуть розглядатися як ізольовані, здвоєні, утворювати ланцюги, шари, каркасні структури.

Глинисті мінерали відносяться до листових силікатів, у яких октаедричні і тетраедричні шари з'єднуються між собою різним чином на кшталт бутербродів

або сендвичів, утворюючи пакети. Пакети з листових конструкцій утворюють лусочки глинистих мінералів.

За особливостями кристалічної будови глинисті мінерали підрозділяють на три основні групи:

- група каолініту,
- група монтморилоніту,
- група гідролюд.

Мінерали каолінітової групи, куди входять також каолінит, дикіт, галуазіт, мають світлий колір і близький хімічний склад, який може бути виражений формулою $\text{Al}_4 [\text{Si}_4 \text{O}_{10}] (\text{OH})_8$.

Основним елементом будови мінералів цієї групи є асиметричний двошаровий пакет (шар кремнекисневих тетраедрів і шар алюмогідроксильних октаедрів, рис. 1.1).

Суміжні пакети стикаються шарами різного складу, що обумовлює достатньо міцний зв'язок як між шарами, так і між пакетами. Відстань між пакетами внаслідок цього здатна змінюватися в невеликих межах. У результаті малого негативного заряду поверхні листів і малого міжшарового простору мінерали типу каолініту здатні утримувати лише невелику кількість обмінних катіонів і води. Вода, адсорбована в міжшаровому просторі, легко виділяється з цих мінералів при нагріванні.

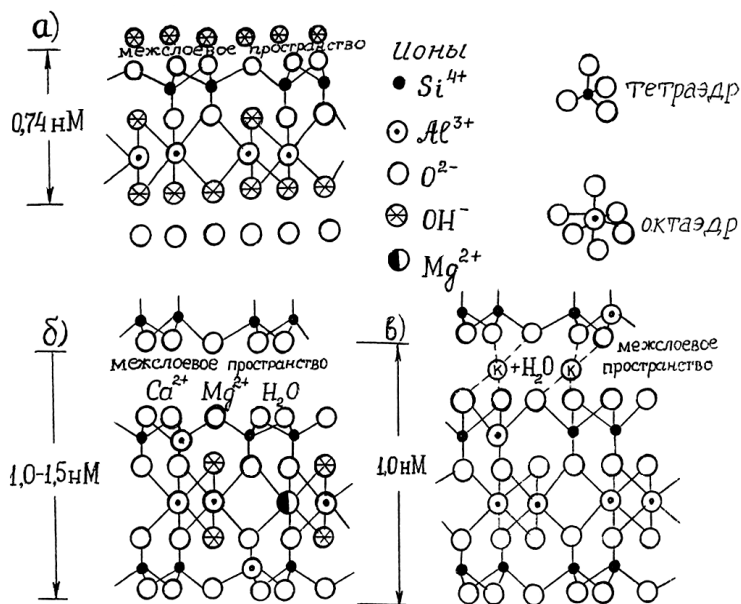


Рис. 1.1 – Схема будови глинистих мінералів

Група монтморилоніту включає, крім головного мінералу, бейделіт, нонтроніт, сапоніт. Ідеалізовані формули головних представників групи такі:

монтморилоніт	$\text{Al}_2 [\text{Si}_4 \text{O}_{10}] (\text{OH})_2 \cdot n_2 \text{O}$,
бейделіт	$\text{Al}_2 [\text{Al Si}_3 \text{O}_{10}] (\text{OH})_2 \cdot n_2 \text{O}$,
нонтроніт	$\text{Fe}_2 [\text{Si}_4 \text{O}_{10}] (\text{OH})_2 \cdot n_2 \text{O}$,
сапоніт	$\text{Mg}_3 [\text{Si}_4 \text{O}_{10}] (\text{OH})_2 \cdot n_2 \text{O}$.

Кількість води в складі мінералів мінлива і залежить навіть від вологості середовища.

Визначальним елементом структури мінералів цієї групи є тришаровий пакет, в якому між двома шарами кремнекисневих тетраедрів розташований октаедричний шар (рис. 1.1). У тетраедричних шарах кремній часто заміщується алюмінієм;

в октаедричних, в свою чергу, іони алюмінію заміщуються іонами Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , Cr^{3+} . Велика кількість ізоморфних заміщень обумовлює значний негативний заряд поверхні шарів. Зв'язок між пакетами значно слабкіший, ніж зв'язок між шарами в пакетах, що спричиняє специфічні властивості мінералів цієї групи:

- здатність до абсорбції великої кількості води між пакетами в структурі мінералу зі збільшенням його обсягу в 6–10 разів стосовно початкового;
- висока поглинальна та іонообмінна здатність стосовно катіонів магнію, натрію, кальцію і калію, які монтморилоніт адсорбує з розчинів (підземних вод);
- поглинання деяких органічних сполук, зокрема барвників.

Мінерали цієї групи білі, сірі, жовтувато-зелені. Бентонітові глини, до складу яких входить монтморилоніт, служать основним компонентом для виготовлення високоякісних бурових розчинів, які використовуються при проходці свердловин. Глини, до складу яких входять мінерали цієї групи, характеризуються дуже низькою водопрпускнуою здатністю.

Група гідрослюд, головними представниками якої є ілліт і глауконіт, займає проміжне положення між власне слюдами і монтморилонітовими мінералами. Від слюд у хімічному відношенні відрізняється в основному меншим вмістом лугів і збільшенням кількості води, а від мінералів монтморилонітової групи – наявністю в міжшаровому просторі іонів калію, що забезпечують структурну стабільність мінералу й обмежують кількість води й обмінних катіонів, які можуть знаходитися в міжпакетному просторі.

Ілліт $(\text{K}, \text{H}_2\text{O}) \text{Al}_2[(\text{Al}, \text{Si}) \text{Si}_3 \text{O}_{10}](\text{OH})_2$ – типовий продукт вивітрювання, головний мінерал багатьох глинистих відкладів.

Глауконіт $(\text{K}, \text{H}_2\text{O})(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Al})_2[(\text{Al}, \text{Si}) \text{Si}_3 \text{O}_{10}](\text{OH})_2$ – широко розповсюджений в осадових породах мінерал зеленого кольору, який утворюється в мілководних морських басейнах при незначних змінах окислювально-відновних умов.

Гідроксиди і оксиди вторинних мінералів представлені гематитом Fe_2O_3 , гетитом HFe_2 , лепідокрокітом FeOOH , гіббсітом $\text{Al}(\text{OH})_3$, бемітом $\text{Al}(\text{OH})$, опалом $\text{Si}_2 \cdot n_2\text{O}$, які можуть бути в кристалічній або аморфній формі. Ізоморфні заміщення для цих мінералів не характерні. Заряд високодисперсних часток цих мінералів у цілому залежить від величини рН середовища.

Водорозчинні солі часто присутні в осадових гірських породах у твердому вигляді, немовби цементуючи їх і підвищуючи їхню міцність за рахунок утворення нових зв'язків. Однак зв'язки, утворені легкорозчинними солями, під дією води можуть легко порушуватися, у той час як зміцнюючий вплив важкорозчинних солей зберігається.

До легкорозчинних відносять галіт NaCl , сильвін KCl , мірабіліт Na_2SO_4 , сода Na_2CO_3 ; до середньорозчинних – гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ангідрит CaSO_4 ; до важкорозчинних – кальцит CaCO_3 , магнезит MgCO_3 , доломіт $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$.

За ступенем засолення виділяють:

- незасолені ґрунти (водорозчинних солей менше 0,2 % від ваги сухої породи);
- слабозасолені, що містять від 0,2 до 0,5 % водорозчинних солей;
- засолені, що утримують більше 0,5 % водорозчинних солей.

1.4 ГРАНУЛОМЕТРИЧНИЙ СКЛАД РОЗДІЛЬНО-ЗЕРНИСТИХ ҐРУНТІВ

Пухкі осадові породи складаються з окремих складових частинок різної величини, форми, речовинного складу. Розмір складових часток може змінюватися від декількох метрів до тисячних часток міліметра. При дослідженні таких ґрунтів після їхнього макроскопічного вивчення та опису виконують аналіз їх гранулометричного складу, який істотно впливає на фізико-механічні властивості ґрунтів.

Гранулометричний, зерновий чи механічний склад характеризує осадові породи у відношенні їхньої дисперсності – розмірів частинок, що їх складають, тобто дає кількісну характеристику структури порід. Він виражає процентне співвідношення в ґрунтах груп частинок – фракцій різних розмірів, взятих відносно ваги абсолютно сухої породи. Розмір фракцій, що складають ті чи інші ґрунти, виражають, як правило, в міліметрах.

Гранулометричний склад є одним з важливих факторів, що визначають фізичні властивості ґрунту. Від нього залежать такі важливі властивості, як пластичність, пористість, опір зсуву, стисливість, усадка, набухання, водопроникність тощо.

Визначення гранулометричного складу необхідно для вирішення ряду практичних питань, найважливішим з яких є:

- класифікація ґрунтів за гранулометричним складом;
- орієнтовне обчислення водопроникності пухких незв'язних ґрунтів за емпіричними залежностями;
- оцінка придатності ґрунтів для використання їх як насипи, для доріг, дамб, земляних гребель;
- оцінка можливих явищ суфозії в тілі фільтруючих гребель і їхніх основ, у стінках котлованів, у бортах виїмок тощо та розрахунок зворотних фільтрів;
- оцінка пухких незв'язних ґрунтів як будівельного матеріалу і головним чином як заповнювача при виготовленні бетону.

У даний час розроблені та використовуються різноманітні методи визначення гранулометричного складу ґрунтів, які можна об'єднати в такі групи:

- візуальні, що полягають у порівнянні на око чи за допомогою лупи досліджуваного об'єкта з еталонами, механічний склад яких відомий;
- польові, що полягають в оцінці гранулометричного складу ґрунту за числом набухання і механічним числом, що визначаються спеціальною лійкою і трубкою;
- ситові методи;
- гідравлічні способи, засновані на неоднаковій швидкості падіння у воді часток різної крупності. До них відносяться методи відмулювання в спокійній воді і методи поділу струмом води;
- безперервні способи аналізу – піпеточний, ареометричний.

Дві останні групи методів використовують для вивчення фракційного складу пилувато-глинистих порід.

Основний спосіб визначення гранулометричного складу піщаних і крупно-уламкових ґрунтів – ситовий. Ситовий спосіб може мати самостійний характер, якщо при аналізі обмежуються виділенням фракцій більше 0,1 мм, чи бути складовою частиною комбінованого аналізу при виділенні в ґрунті пилуватих і глинистих фракцій.

1.5 ВОДНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ

Гірські породи являють собою трифазні системи, що складаються з твердої (власне породи), рідкої і газової фази.

У верхній зоні земної кори вище рівня ґрунтових вод (першого водоносного горизонту) у порах і пустотах гірських порід переважають гази. Ця зона називається зоною аерації.

Нижче рівня ґрунтових вод пори і пустоти в основному заповнені водою. Ця зона земної кори називається зоною насичення.

Усі різноманітні види води, що знаходяться нижче поверхні землі у гірських породах та речовині мантиї, відносять до підземних вод.

За характером зв'язку з гірськими породами і ступенем рухливості підземні води розділяють на три групи:

- хімічно зв'язана вода (включає конституційну, кристалізаційну і цеолітну);
- фізично зв'язана вода (включає міцнозв'язану, пухкозв'язану і капілярну);
- вільна вода.

Хімічно зв'язана вода утримується усередині мінералів, що складають породи, силами, які значно перевищують силу ваги. Виділяється з мінералів при нагріванні їх до різної температури. Повне руйнування кристалічних решіток з видаленням конституційної води відбувається при температурах у кілька сотень градусів; кристалізаційна вода виділяється при температурі, що перевищує 1050°C; цеолітна вода виділяється поступово, починаючи з температур порядку 400°C.

Фізично зв'язана вода міститься головним чином у тонкодисперсних породах і утримується на поверхні часток силами, що мають електричну природу. Диполі міцнозв'язаної води входять до складу дифузійного шару, що розташовується навколо адсорбційного шару, молекули якого утримуються силами молекулярного притягання. Пухкозв'язана вода може пересуватися у процесі вирівнювання товщини гідратної оболонки в сусідніх часток, а також під впливом осмотичних і електроосмотичних частинок. У глинах кількість пухкозв'язаної води може досягати 30 %, а сумарна кількість зв'язаної води – до 50 %.

Капілярна вода найбільш рухлива з усіх видів зв'язаної води, вона не підкоряється закону сили тяжіння і пересувається в капілярних порах знизу вгору від рівня підземних вод. Обмеження рухливості пов'язане з дією сил поверхневого натягу на межі розділу вода-порода.

Вільна (гравітаційна) вода заповнює пори і пустоти в гірських породах і пересувається в них під впливом сили тяжіння (зверху вниз) чи в різних напрямках під впливом перепаду тисків (градієнта напору). Причиною руху вод може бути також різниця в щільності, що виникає при збільшенні температури води. Вільна вода бере активну участь у процесах тепло- і масопереносу, є активним розчинником, вона передає гідростатичний тиск, спричиняє зважуючий тиск на підшву споруд. Механічна дія потоку води, що рухається, полягає в гідродинамічному тиску на породи в укосах і виробках, у виносі часток породи (суфозії) і утворенні таких небезпечних явищ, як пливуні, зсуви, обвали.

1.6 НЕБЕЗПЕЧНІ ЯВИЩА У ЗВ'ЯЗКУ З ПІДВИЩЕННЯМ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТІВ

Зміна кількісного співвідношення між твердою і рідкою фазою в гірських породах призводить до порушення рівноваги в системі і до розвитку геологічних явищ, що становлять небезпеку для поселень і об'єктів господарської діяльності людини. Екзогенні процеси можуть бути викликані також зміною гідродинамічного режиму підземних вод, що часто стимулюється водогосподарською, будівельною, гірничо-геологічною діяльністю людини.

До екзогенних геологічних процесів такого роду відносять пливуни, суфозійні явища, зсуви, карстоутворення та осідання.

Пливунами називають піщано-глинисті ґрунти, що поведуть себе у водонасиченому стані на зразок в'язких рідин.

Справжні пливуни мають специфічну властивість – тиксотропність, тобто здатність розріджуватися під впливом ударів і вібрації і повертатися у вихідний стан при знятті цих впливів, що пов'язано з колоїдною природою структурних зв'язків між частками породи (ґрунту). Справжні пливуни, незважаючи на різноманітність гранулометричного складу, характеризуються присутністю гідрофільних мінералів типу монтморилоніту, що зв'язують велику кількість води.

Псевдопливуни переходять у пливунний стан під впливом гідродинамічного тиску і легко піддаються осушенню, віддаючи вільну воду.

Пливунні ґрунти утворюють опливини в бортах котлованів, кар'єрів, відвалів, становлять небезпеку для відкритих підземних гірських виробок.

Суфозія – процес виносу дрібних часток гірських порід і розчиненої речовини потоком підземних вод, що фільтруються через породи. Суфозія підрозділяється на механічну, або власне суфозію (винос дрібних часток з неоднорідного за гранулометричним складом незв'язного ґрунту), і хімічну, чи розчинення (розчинення і вимивання з порід і ґрунтів водорозчинних солей).

У результаті суфозії і зв'язаного з нею розущільнення масиву в бортах і уступах кар'єрів, котлованів, відвалів, гідротехнічних споруд утворюються зсуви, випори, обвали, осідання. Крім того, суфозія в прифільтровій зоні водопонижуючих свердловин призводить до різкого зростання гідравлічного опору свердловинних фільтрів і швидкого зносу насосів за рахунок абразивної дії піщинок.

Розчинення сольових компонентів і збільшення пористості порід може підготовляти умови для розвитку в них механічної суфозії. Спільна діяльність поверхневих і підземних вод призводить до розвитку просадних і карстових явищ у лесах, вапняках, доломітах, соленосних товщах.

Зміна міцності скельних ґрунтів у зв'язку з водонасиченням

Породи з жорсткими структурними зв'язками (скельні) поведуться як тверді тіла і характеризуються міцністю, тобто здатністю чинити опір руйнуванню від дії внутрішніх напружень, що виникають у результаті зовнішніх впливів.

Міцність, що характеризується показником $R_{ст}$ (тимчасовий опір стиску), залежить не тільки від мінералогічного складу порід, їхньої структури, характеру внутрішніх зв'язків між частками, але і від ступеня вивітрілості порід, їхньої тріщинуватості й водонасиченості. Здатність до зниження міцності порід при їх водонасиченні називають розм'якливістю порід.

Відношення межі міцності на стиск ($R_{ст}$) породи у водонасиченому стані до аналогічного показника сухої породи називається коефіцієнтом розм'якливості (K_p):

$$K_p = R_{вод}/R_{сух}.$$

Породи з коефіцієнтом розм'якливості менше 0,75 відносять до порід, що розм'якшуються, тобто мають істотне зниження міцності у водонасиченому стані.

Зміна консистенції пилувато-глинистих ґрунтів

Глинисті породи характеризуються високим ступенем водопоглинання і капілярного підняття та низкою водопроникністю. Зміст фізично зв'язаної води може досягати в них 50 % і дуже впливати на властивості і стан гірських порід.

Глинисті породи мають характерну властивість – здатність змінювати свій стан (консистенцію) при зміні вологості.

Консистенцією називається стан глинистого ґрунту, що відображує ступінь рухливості його частинок залежно від вологості.

Розрізняють три основних види консистенції: тверду, пластичну і текучу.

При твердій консистенції порода має властивості, близькі до властивостей твердих тел. При пластичній – порода або ґрунт під впливом зовнішніх зусиль змінює форму без розриву суцільності і зберігає її після припинення дії зусиль. При текучій консистенції ґрунт здобуває властивості в'язких рідин.

Для кількісної характеристики пластичності введено поняття «*межа пластичності*». Верхня межа пластичності (межа текучості) визначається значенням вологості, при якій порода переходить із пластичного стану в текучий і позначається W_L . Нижня межа пластичності (межа розкочування) W_P визначається вологістю породи, при якій вона переходить із пластичного стану в твердий.

Визначення меж пластичності роблять лабораторними методами.

Різниця між значеннями вологості на межі текучості й вологості на межі пластичності (розкочування) для даної породи називається числом пластичності і позначається I_P . Таким чином

$$I_P = W_L - W_P.$$

Число пластичності може бути виражене у відсотках або в частках одиниці.

У глинистої породи твердої консистенції природна вологість менше нижньої межі пластичності, при пластичній консистенції вологість вище нижньої межі пластичності, але нижче верхньої, при текучій – вологість вище верхньої межі пластичності.

Пластичність порід визначається наступними факторами: гранулометричним складом, мінералогічним складом, складом обмінних катіонів, концентрацією солей порового розчину. Одним з найважливіших чинників, що визначають пластичність порід, є їх гранулометричний склад. Пластичні властивості притаманні фракціям менше 0,05 мм, вони зростають при збільшенні дисперсності часток. Сильно збільшують пластичність колоїдні частки, що зв'язують велику кількість води в гідратних оболонках.

З мінералів глинистих порід при рівній дисперсності найбільшою пластичністю володіють вторинні глинисті мінерали. Частки кварцу не мають пластичності.

Пластичність порід змінюється залежно від складу обмінних катіонів. Найбільший вплив на збільшення пластичності роблять одновалентні іони, найменший – тривалентні. Поглинутий натрій різко збільшує пластичність породи,

а поглинутий кальцій зменшує її. Пластичність глинистих порід зростає при збільшенні ємкості поглинання.

Присутність у складі порового розчину великої кількості солей знижує пластичність порід.

Основні типи глинистих порід залежно від вмісту глинистої фракції характеризуються різними значеннями числа пластичності і показниками текучості (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Показники пластичності й текучості глинистих порід

Порода (грунт)	Вміст глинистих частинок, %	Показник пластичності I_p , %	Межа текучості, W_L , %
Супісок	3 – 10	$1 < I_p \leq 7$	16-26
Легкий суглинок	10 – 15	$7 < I_p \leq 12$	
Суглинок середній	15 – 20	$7 < I_p \leq 15$	26-42
Суглинок важкий	20 – 30	$15 < I_p \leq 17$	
Глина	>30	$I_p > 17$	42

Консистенція глинистого ґрунту характеризується показником текучості, який визначають за формулою:

$$I_L = \frac{W_0 - W_p}{W_L - W_p},$$

де W_0 – природна вологість ґрунту;

W_L і W_p – вологість на границі текучості і пластичності відповідно.

За величиною показника текучості визначають консистенцію глинистого ґрунту того або іншого типу (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Значення показника текучості для глинистих порід різної консистенції

Тип ґрунту (породи)	Консистенція	Величина показника текучості
Супісок	тверда	$I_L < 0$
	пластична	$0 \leq I_L \leq 1$
	текуча	$I_L > 1$
Суглинок і глина	тверда	$I_L < 0$
	полутверда	$0 \leq I_L \leq 0,25$
	тугопластична	$0,25 \leq I_L \leq 0,50$
	м'якопластична	$0,50 \leq I_L \leq 0,75$
	текучопластична	$0,75 \leq I_L \leq 1$
	текуча	$I_L > 1$

Використання приведених залежностей дозволяє прогнозувати поведінку глинистих порід при зміні їхньої вологості.

Міцність глинистих порід знижується з підвищенням вологості, тому що при цьому змінюється їхня консистенція. Щоб судити про міцність глинистих порід, їхню водопроникність та інші властивості, необхідно оцінити консистенцію породи в природних умовах. Для цього використовують розрахунки показників консистенції. Але при цьому не враховуються структурні зв'язки і тим самим знижується справжня міцність порід.

У глинах ущільнених з непорушеною структурою зміна консистенції при зміні вологості може не відбуватися завдяки наявності структурних зв'язків зчеплення. Після порушення структурних зв'язків така глиниста порода може перейти в м'який стан без додаткових ущільнень.

Тому характеристиками консистенції глинистих порід треба користуватися з урахуванням комплексу геологічних даних (умови залягання, мінералогічний склад порід тощо).

Таким чином, консистенція визначеного виду глинистої породи при визначеній вологості може бути різною, що залежить від кількості глинистих часток у породі та їхнього мінералогічного складу.

1.7 СУФОЗІЙНІ ЯВИЩА В РОЗДІЛЬНО-ЗЕРНИСТИХ (НЕЗВ'ЯЗНИХ) ГРУНТАХ

Фільтрацією підземних вод називають рух вільної гравітаційної води, що відбувається під дією сили ваги або градієнта напору за умови повного насичення вільного простору водою.

Вільний простір у гірських породах може бути представлений порами, тріщинами, кавернами. Рух вільної води відбувається за системою взаємозалежних пор за винятком тих, що зайняті зв'язаною водою, стисненим повітрям і т.д. Кількісною характеристикою цієї системи пор служить величина ефективної пористості.

Для спрощення фільтраційних розрахунків умовно приймається, що рух води відбувається через весь поперечний переріз елемента породи (рис. 1.2), площа якого визначається за залежністю:

$$F = B \cdot m, \quad [m^2, cm^2, dm^2], \quad (1)$$

де B – ширина потоку, м;

m – потужність потоку, м.

Реальна площа поперечного перерізу потоку F_1 визначається з урахуванням коефіцієнта ефективної пористості n :

$$F_1 = F \cdot n = n \cdot B \cdot m \quad [m^2, cm^2, dm^2]. \quad (2)$$

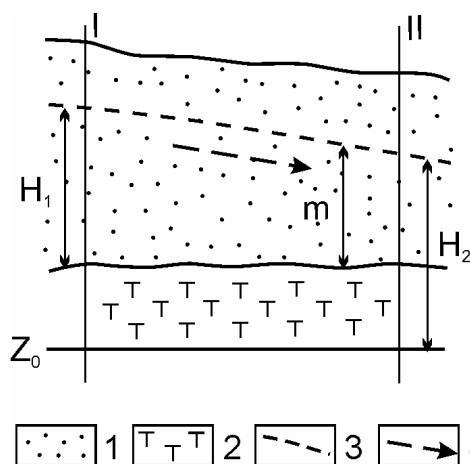


Рис. 1.2 – Схема фільтраційного потоку ґрунтових вод з вільною поверхнею:

1 – породи водоносного горизонту, 2 – слабо-проникні породи;

3 – вільний рівень ґрунтових вод; 4 – напрямок руху фільтраційного потоку;

Z_0 – площина порівняння

Витратою фільтраційного потоку Q називають кількість води, що проходить в одиницю часу через поперечний переріз потоку. Витрата може виражатися в cm^3/s , л/с, $m^3/добу$ і т.д.

Питома витрата потоку q – кількість води, що проходить в одиницю часу через поперечний переріз водовмісної товщі або ґрунту шириною 1 м. Виражається в м³/с на погонний метр (пог. м), л/с на 1 пог. м., см³/с на 1 пог. м.

Швидкість фільтрації V – це кількість води, що проходить через одиницю поперечного перерізу потоку:

$$V = \frac{Q}{F} \quad [\text{см/с, м/с, м/добу}], \quad (3)$$

де Q – фільтраційна витрата;

F – поперечний переріз потоку.

Швидкість фільтрації V , віднесена до всієї площі поперечного перерізу потоку, не характеризує дійсну швидкість руху потоку по фільтруючому просторі породи і є, власне кажучи, фіктивною величиною. Дійсна швидкість фільтраційного потоку дорівнює:

$$U = \frac{Q}{F_1} = \frac{Q}{nF} = \frac{v}{n}. \quad (4)$$

Градiєнт напору називають втрату п'єзометричного напору на одиниці довжини шляху фільтрації:

$$I = \frac{H_1 - H_2}{L} = \frac{\Delta H}{L}, \quad (5)$$

де H_1 і H_2 – п'єзометричний напір води на початку і наприкінці розглянутої ділянки фільтраційного потоку;

L – довжина шляху фільтрації.

Рух природних потоків підземних вод, що характеризується відносно невисокими швидкостями фільтрації, відбувається в основному за лінійним законом (законом Дарсі):

$$Q = k \cdot F \cdot I \quad \text{або} \quad V = k \cdot I, \quad (6)$$

де k – коефіцієнт лінійної фільтрації;

I – градієнт напору;

F – площа поперечного перерізу потоку;

Q – фільтраційна витрата.

Коефіцієнт фільтрації чисельно дорівнює швидкості фільтрації при градієнті напору, рівному одиниці.

Відхилення від лінійного закону відбувається у зв'язку зі збільшенням швидкості фільтрації і характерне для високопроникніх порід (тріщинних, кавернозних) і для зон розвантаження фільтраційного потоку типу свердловин, шахтних стовбурів, каналів.

В узагальненому вигляді основний закон фільтрації може бути виражений залежністю

$$I = av + bv^2, \quad (7)$$

де $a = \frac{1}{K}$; $b = \frac{\alpha}{K}$; K – коефіцієнт лінійної фільтрації при ламінарному режимі; α – коефіцієнт нелінійності фільтрації.

При малих швидкостях фільтрації вираз bv^2 стає зневажливо малим у порівнянні зі значенням av , і може бути використана основна форма закону Дарсі.

При високих швидкостях фільтрації член рівняння av стає дуже малим у порівнянні з виразом bv^2 , і закон фільтрації приймає вигляд: $I = bv^2$. При цьому швидкість фільтрації виражається формулою Шезі-Краснопольського:

$$V = K_{\alpha} \sqrt{I}, \quad (8)$$

де K_{α} - коефіцієнт нелінійної фільтрації при турбулентному режимі.

Перехід від ламінарного руху до турбулентного характеризується певними значеннями числа Рейнольдса (Re).

При рухові рідини в пористому середовищі Re визначають з виразу

$$Re = \frac{Vd_{10}}{v}, \quad (9)$$

де d_{10} – діаметр часток, менше якого в ґрунті міститься 10 % часток за масою;

v – кінематичний коефіцієнт в'язкості,

V – швидкість фільтрації.

При Re менше 2 відбувається відхилення від лінійного закону фільтрації.

Значення коефіцієнта фільтрації залежить від пористості матеріалу, форми і розміру пор, температури, щільності й в'язкості фільтраційної рідини.

Коефіцієнт фільтрації визначають різними способами: розрахунковим, лабораторним, польовим і табличним.

Табличний метод дозволяє оцінювати орієнтовні значення коефіцієнта фільтрації для порід певного зернового складу.

Найбільш точно визначають коефіцієнт фільтрації лабораторними і польовими методами.

При відсутності безпосередніх даних про значення коефіцієнта фільтрації його встановлюють розрахунковим способом. Для розрахунку коефіцієнта фільтрації розроблено кілька емпіричних залежностей.

Для піщано-гравійних і щебеневих ґрунтів коефіцієнт фільтрації при ламінарному режимі фільтрації рекомендують визначати за залежністю М. П. Павчича:

$$K = \frac{3,99\phi_1}{v} \cdot \sqrt[3]{\eta} \cdot \frac{n^3}{(1-n)^2} \cdot d_{17}^2 \quad [\text{см/с}], \quad (10)$$

де ϕ_1 – коефіцієнт, що враховує форму і шорсткість часток; для піщано-гравелістичних ґрунтів $\phi_1=1,0$; для щебеневих ґрунтів $\phi_1=0,35 \dots 0,40$;

v – коефіцієнт кінематичної в'язкості ($\text{см}^2/\text{с}$),

n – ефективна пористість ґрунту;

η – коефіцієнт неоднорідності ґрунту, $\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}}$;

d_{10} , d_{17} , d_{60} – діаметри частинок ґрунту, менше яких в його складі міститься відповідно 10, 17 і 60 % за масою.

Процентний вміст частинок будь-якого діаметра визначається за кривою гранулометричного складу.

У формулу (10) величину d_{17} варто підставляти в см, тоді коефіцієнт фільтрації одержують у см/с.

Фільтраційний потік за певних умов може викликати такі деформації ґрунтів: випір, механічну суфозію, контактний розмив (рис. 1.3).

Випір – руйнування ґрунту під впливом висхідного фільтраційного потоку, при якому починає рухатися деякий об'єм ґрунту з усіма фракціями, що його складають. Частина ґрунту при цьому розпушується, збільшуються пористість і розміри пор.

Механічна суфозія – винос фільтраційним потоком з товщі ґрунту найбільш дрібних частинок; великі частинки залишаються на своїх місцях. Цей процес приводить до зміни гранулометричного складу ґрунту, збільшенню пористості і розмірів пір.

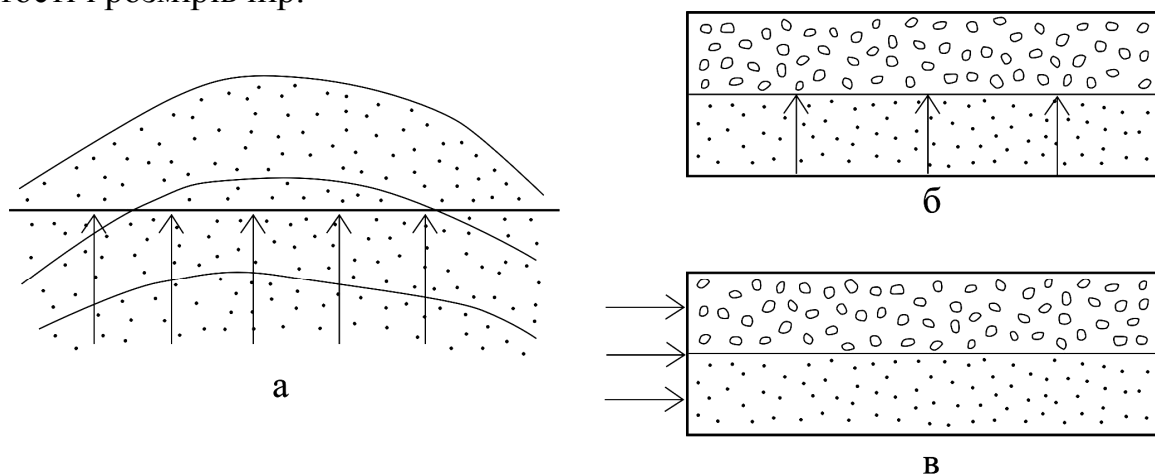


Рис. 1.3 – Схеми впливу фільтраційного потоку на міцність ґрунтів:
1 – дрібнозернистий матеріал; 2 – грубозернистий матеріал;
3 – напрямок руху фільтраційного потоку; а – випір, б – контактний випір,
в – контактний розмив

Контактний випір – руйнування ґрунту на контакті з більш грубозернистим матеріалом, обумовлене впливом фільтраційного потоку, спрямованого нормально до контактної поверхні. У процесі контактного випору відбувається проникнення дрібнозернистого ґрунту в пори більш грубозернистого, а також взаємне переміщення цих суміжних різних за складом ґрунтів. У результаті контактного випору утворюється ґрунт, що відрізняється за своїм складом від вихідних ґрунтів.

Контактний розмив – руйнування ґрунту на контакті з більш грубозернистим матеріалом, обумовлене впливом фільтраційного потоку, спрямованого уздовж контактної поверхні.

Зміна гранулометричного складу, щільності й пористості порід у результаті фільтраційних деформацій може призвести до виникнення тріщин, зон ослабленої міцності, порушення стійкості схилів, обвалення бортів кар'єрів і виробок і т.д.

Зміна водопроникності ґрунтів у результаті цих процесів може призвести до великих водопритоків у котловани, кар'єри, підземні виробки або до кольматації зворотних фільтрів, дренажів, зниження їхньої водопроникності і, нарешті, виходу з ладу.

Фільтраційні деформації будуть розвиватися в незв'язному ґрунті в тому випадку, якщо в ньому є частинки, діаметр яких менше найбільшого фільтраційного ходу і швидкості фільтраційного потоку достатні для переміщення цих частинок.

Швидкість фільтрації, при якій порушується гранична рівновага суфозійних частинок у ґрунті, називається критичною швидкістю суфозії.

Розрізняють ґрунти несуфозійні, суфозійні й практично несуфозійні.

Несуфозійними називають ґрунти, на яких при будь-яких швидкостях фільтрації не буде відбуватися винос дрібних частинок. До практично несуфозійних ґрунтів відносять такі, винос частинок з яких не перевищує 3 % і при цьому не відбувається порушення його міцності та стійкості. У суфозійних ґрунтах винос частинок фільтраційним потоком перевищує 3 %.

1.8 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА БІОГЕННИХ ҐРУНТІВ

До класу нескельних ґрунтів входить група ґрунтів зі специфічними властивостями, що визначаються їх біогенним походженням, молодим віком і слабкою літіфікацією. Представниками цієї групи є мули, заторфовані ґрунти, родючі ґрунти.

Мули – це супіщано-глинисті відклади, що утворилися у водному басейні при участі мікробіологічних процесів на початковій стадії процесу породоутворення.

Розрізняють морські, озерні, болотні, річкові мули. Їхніми діагностичними ознаками є темний колір, рідкотекуча консистенція, висока пористість, значний вміст органічних речовин (до 10 %). З фізико-механічних властивостей слід відзначити високу вологість (70-80 %), низьку щільність сухого ґрунту ($0,8-0,9 \text{ г/см}^3$), пористість 50-60 %, модуль загальної деформації 0,1-2,0 МПа.

Таким чином, мули відносять до слабких ґрунтів із незначною несучою здатністю, яким властива тиксотропність. Будівництво на них можливе тільки із застосуванням спеціальних методів (таких як метод перевантаження, пальових основ, зневоднювання тощо).

Торф і заторфовані ґрунти утворюються в болотах і характеризуються темним кольором, високим вмістом рослинних решток (від 10 до 60 % і навіть більш) і високою стисливістю.

Вологість торфу може досягати 800 – 1000 %, щільність у вологому стані $0,7 - 1,4 \text{ г/см}^3$, у сухому – $0,2 - 0,4 \text{ г/см}^3$, водопроникність коливається в широких межах – від метрів за добу в торфу, що не розклався, до практичної відсутності водопроникності при високому ступені розкладання органіки.

З інженерно-геологічних позицій торф відноситься до ґрунтів, що нерівномірно деформуються, несприятливих для будівництва внаслідок високої мінливості властивостей. Будівництво на них включає прорізання заторфованого шару, повільне ущільнення торфу або його видалення (виторфовування).

Родючі ґрунти як унікальні природні утворення характеризуються наявністю в їхньому складі гумусу, що визначає їхню родючість. Якщо за комплексом властивостей, значення яких відрізняються для різних генетичних підгруп ґрунтів, ґрунтовий шар відноситься до родючого – він підлягає зняттю перед проведенням будівельних робіт. З інженерно-геологічних позицій основною характеристикою типу ґрунтів є їхній зерновий склад.

1.9 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОГЕННИХ ШТУЧНИХ ҐРУНТІВ

До штучних ґрунтів відносять тверді відходи виробничої діяльності людини, які використовуються в будівельних цілях, а також ґрунти природного походження, ущільнені й закріплені різними методами технічної меліорації, намівні й насипні ґрунти.

Частина технічних порід утворюється як побічні продукти технологічних процесів (шлаки металургійного і ливарного виробництва, паливні шлаки, шлами деяких виробництв). Потрапляючи до складу відходів підприємства, ці матеріали нерідко використовуються як ґрунтові матеріали. Специфічний склад і властивості штучних матеріалів можуть викликати нестабільність будівельних властивостей ґрунтів, до складу яких вони входять, і зміни в компонентах навколишнього середовища в результаті процесів хімічного вивітрювання нестійких у природних умовах технічних каменів.

Найбільший об'єм серед твердих промислових відходів займають відходи гірничодобувних і збагачувальних підприємств – розкривні породи і відходи рудозбагачення, так звані хвости.

Відходи рудозбагачення (хвости)

Хвости утворюються в процесі дроблення і подрібнювання руди і наступного витягу з неї рудних мінералів з використанням флотаційного збагачення, магнітної сепарації та інших технологічних заходів. Від ступеня подрібнювання руди залежить гранулометричний склад відходів, основними характеристиками якого є середньозважений діаметр часток і коефіцієнт неоднорідності d_{60}/d_{10} .

Хвости збагачувальних фабрик чорної металургії мають середньозважений діаметр від 0,07 до 0,55 мм при вмісті часток менше 0,005 мм від 6 до 20 %. Хвости збагачення дорогоцінних металів більш дрібні, їхній середньозважений діаметр складає 0,07–0,12 мм.

Таким чином, у складі матеріалу переважають пилюваті й піщані фракції, причому для часток характерна кутааста неправильна форма (коефіцієнт форми хвостів 0,12–0,14, у пісків 0,22–0,30, в ідеальній кулі 1).

Щільність хвостів вище, ніж у пісків природного походження (2,6 г/см³) і складає у хвостів чорної металургії 2,9–3,7 г/см³, хвостів кольорової металургії – 2,75–3,1 г/см³.

Складають хвости у хвостосховищах. Після зневоднювання вони можуть бути використані як ґрунти при будівництві або як заповнювач у бетонах (після виділення піщаної фракції.)

Збезводнені шлами хвостосховища є джерелом викидів пилу і забруднення атмосфери.

Шлаки металургійного виробництва

Металургійні шлаки є побічним продуктом високотемпературного процесу виплавки металу (1500–1700°C), що утворюються при взаємодії компонентів вихідної шихти і підлягають видаленню з виплавленого металу. При виплавці чорних металів їхній вихід складає від 10 до 40 % від виробленого металу. При отриманні кольорових металів кількість шлаку може досягати 10–150 т на тонну металу (міді й нікелю).

Хімічний склад шлаків

Основними компонентами у складі шлаків є SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , MgO , FeO , Fe_2O_3 , характерними домішками доменних шлаків можна вважати S і Mn , а сталеплавильних – P і Cr .

Фізико-хімічні й технологічні властивості шлаків узагальнено характеризує показник, що називається модулем основності M и чисельно дорівнює відношенню:

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}.$$

За величиною модуля основності шлаки підрозділяють на п'ять груп: високоосновні ($M_{\text{осн}} > 2,5$), основні ($M_{\text{осн}} = 2,5-1,5$), середні ($M_{\text{осн}} = 1,0-1,5$), кислі ($M_{\text{осн}} = 1,0-0,5$) і ультракислі ($M_{\text{осн}} < 0,5$).

Структура і мінералогічний склад затверділих шлаків залежать від їхнього хімічного складу і режиму охолодження. Кислі шлаки мають високу в'язкість, малу кристалізаційну здатність і при затвердінні утворюють більше 50 % склофаз. Середні шлаки при швидкому охолодженні твердіють у вигляді склоподібної маси з включенням кристалічних компонентів, а при повільному охолодженні шлак набуває кристалічну структуру. Для основних і високоосновних шлаків характерний високий ступінь кристалічності.

До групи середніх відносяться шлаки доменного виробництва; сталеплавильні шлаки металургійних підприємств України входять у групу основних і високоосновних.

Можливості використання цих матеріалів досить різноманітні. Велику частину доменних шлаків переробляють у рідкому стані для одержання гранульованого шлаку, який використовується при виробництві цементу, шлакового щебеню і шлакової пемзи, деякі вводять до складу шихти при виплавці сталі. Сталеплавильні шлаки знаходять застосування як у металургії, так і у виробництві добрив і меліорантів для ґрунтів, абразивних матеріалів, але найбільші їх об'єми використовуються в будівництві. Фракціонований і рядовий шлаковий щебінь служить матеріалом для дорожнього, гідротехнічного і промислового будівництва, що дозволяє зменшити обсяги природних кам'яних матеріалів і зменшити масштаби порушень природного середовища, викликані їх розробкою. В Україні і за її межами великі об'єми шлаку використовують при зведенні дамб і захисних укріплень конструкцій шламонакопичувачів, відстійників та інших об'єктів промислової гідротехніки. Багато металургійних підприємств мають шлакові відвали, в яких переважно складаються шлаки, що не проходили спеціальної обробки, і спеціалізована шлакова продукція перед відправленням її споживачам.

Шлаки являють собою багатокомпонентні системи, що складаються з високотемпературних сполук, або штучних мінералів, що є нестійкими у фізико-хімічних умовах земної поверхні.

Мінералогічний склад шлаків

Переважаючими мінералами шлаків є силікати. У доменних шлаках це представники серії твердих розчинів $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$ - $\text{Ca}_2\text{AlSiAl}_7$ (меліліти), а також силікати кальцію ларніт, ранкініт, псевдоволластоніт. У мартенівських і конвер-

торних шлаках переважає двокальцієвий силікат, магнезо-кальцієві силікати мервиніт і монтичелліт, є присутнім трикальцієвий силікат. Для шлаків з високим вмістом фосфору характерні силікофосфати типу нагельшмидтіту. Типовими мінералами сталеплавильних шлаків є браунміллеріт $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_7$, моно- і двокальцієвий феррит. Встановлена також присутність шпинелідів різноманітного складу, в тому числі FeCr_2O_4 і CaCr_2O_4 , оксидів заліза і марганцю, сульфідів кальцію (характерні крапкові включення в склоподібній масі), вапна. Азот є присутнім у шлаку як у розчиненому вигляді, так і у формі нітридів, зокрема, Ca_3N_2 , який легко гідролізується. Для вивчених шлаків характерна структура типу мікропорфірової, що створюється поєднанням склоподібної фази з кристалічними виділеннями мінералів.

Під впливом вологи і газових компонентів атмосфери відбувається утворення вторинних мінералів, тобто вивітрювання шлаків. Вторинні мінерали розвиваються при вивітрюванні шлаків по їхній поверхні, по тріщинах і порах. Найбільш характерними є карбонати кальцію (кальцит і фатерит), а також магнезит MgCO_3 , анкерит $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{CO}_3)_2$, сидерит FeCO_3 , оксид кремнію (кварц або халцедон), гіпс і гідросилікати кальцію. Крім того, можуть бути присутніми беміт AlOOH і гетит HFe_2 . При взаємодії шлаків з морською водою утворюється брусит $\text{Mg}(\text{OH})_2$. У вивітрілих фосфористих шлаках в асоціації з карбонатами відзначалася присутність фосфатів кальцію і магнію.

Процес вивітрювання шлаку супроводжується збільшенням кількості дрібних фракцій в його складі. Швидкість вивітрювання шлаку і, отже, його подрібнювання знижується після витримки у відвалах протягом 1–2 років. При періодичному поливі шлаків термін відносної стабілізації їхнього складу і властивостей скорочується до 0,5–1 року.

Розпад шлаків – швидке самоподрібнювання без спеціального механічного дроблення. Механізм розпаду зв'язаний з напруженнями, що виникають у шлаку при переході одних мінеральних форм в інші (наприклад, гідратації включень, які не прореагували в ході плавки вільного вапна, структурні модифікації двокальцієвого силікату при охолодженні затверділого шлаку).

У деяких шлаках за рахунок формування на поверхні уламків плівки вторинних мінералів утворюються кристалізаційні зв'язки, що приводять до самоцементатації шлаків.

Активність шлаків характеризує їхню здатність до самоцементатації при впливі води і деякого зовнішнього навантаження.

Будівельні властивості металургійних шлаків

За зерновим складом доменні й сталеплавильні шлаки, що не розпадаються, можуть бути віднесені до великоуламкових ґрунтів, у яких зміст піщаних і пилуватих часток досягає 8 – 35 %.

Щільність шлаків у штуфі залежить від їхньої структури: у пористих доменних шлаків вона складає 1,5–1,6, у щільних сталеплавильних – 3,2–3,6 г/см³, щільність у насипному стані 1,7–2,1 г/см³, тобто вона вище, ніж у природних порід. Для них характерна також значна міцність на стиск і висока стійкість у насипу (кут внутрішнього тертя складає 48–51°).

Насипи зі шлаків добре проникні: коефіцієнт фільтрації шлаків з малим вмістом піщаних і пиловатих частинок ($d_{17} > 2 \text{ мм}$) досягає 1–20 см/с, у шлаків з високим вмістом дрібних частинок ($d_{17} < 2 \text{ мм}$) він змінюється в діапазоні $n \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-3} \text{ см/с}$.

Оцінка стійкості шлаків до механічної суфозії показує, що критична швидкість фільтраційного потоку в споруді може виникнути при градієнтах напору, що в кілька разів перевищують ті, які реально спостерігаються в спорудах.

При використанні шлаків у будівництві й проектуванні споруд з шлакових матеріалів, щоб уникнути аварій, обов'язково повинна враховуватися їхня здатність до розпаду і зміни в часі зернового складу, пористості і, відповідно, коефіцієнта фільтрації, можливі об'ємні зміни.

При хімічному вивітрюванні шлакових мінералів, у тому числі сульфідів і нітридів, у водному середовищі відбувається різке підвищення рН, з'являються такі сполуки, як сірководень, нітрити, нітрати, можливо, аміак, деякі метали, вміст яких у водному середовищі лімітується екологічними нормативами.

Паливні золи і шлаки

Продукти спалювання твердого органічного палива, а також мазуту під-розділяють на золу і шлак.

Зола – це продукт спалювання палива, що виноситься димовими газами з топки котла і уловлюється золоуловлювачами. Золу звичайно складують у золонакопичувачах, куди її доставляють за допомогою гідротранспорту.

Шлак – матеріал, що накопичується в ході згорання палива у шлакозбірниках (на колошниках топок). Шлак складують у відвалах.

Питомий вихід золи і шлаків залежить від виду палива, що спалюється, і характеризується зольністю останнього. Так, зольність кам'яного вугілля складає 15–29, паливних сланців – 43–49, торфу – близько 6, мазуту – 0,3–0,5 %.

За хімічним складом ці шлаки відносяться переважно до групи кислих, рідше ультракислих і основних. На відміну від металургійних шлаків у паливних вміст лугів ($K+Na$) досягає 3–4 %. У складі шлаків переважає склоподібна речовина алюмосилікатного складу (80–90 %). У кристалічній частині переважними мінералами є калієвий алюмосилікат ортоклаз, меліліти, монтічелліт. Присутні також різні форми кремнезему, мінерали заліза, сульфати і карбонати кальцію, іноді обпалена глиниста речовина, недопал (органічна частина палива).

За зерновим складом шлаки відносяться до великоуламкових і піщаних ґрунтів, а золи – до пиловатих і пиловато-піщаних ґрунтів.

Можливі області застосування – використання як компонента для виробництва будівельних матеріалів, у тому числі шлакобетону і цементу, в дорожньому будівництві.

Важливою особливістю цих матеріалів є наявність шкідливих домішок (миш'яку, кадмію, урану, ванадію та ін.), що пов'язано з розкладанням у результаті топкового процесу мінералів-домішок, присутніх у вихідному паливі, і збагачення ними золи.

Таким чином, при гідротранспорті золи в накопичувачі забруднюючі речовини з фільтратом попадають у підземні й поверхневі води, а з викидами теплових установок – в атмосферу. У 1991 р. фахівцями Харківської геологічної експедиції було підраховано, що за 30 років роботи Зміївської ГРЕС в атмосферу було викинуто 140 т берилію, 1300 т ванадію, 3900 т стронцію, 210 т урану і 400 т кадмію.

2. ВИКОРИСТАННЯ ҐРУНТІВ У БУДІВНИЦТВІ

При будівництві споруд нерідко виникає необхідність штучного поліпшення фізико-механічних властивостей гірських порід, якщо в природному стані вони не мають необхідну міцність, стійкість, водостійкість або інші якості, що забезпечують раціональну конструкцію споруди і її нормальну експлуатацію на весь розрахунковий період.

Штучна зміна властивостей гірських порід з метою їхньої стабілізації називається **технічною меліорацією ґрунтів**.

У ході меліорації ґрунтів можна підвищити їхню монолітність, міцність, морозотривкість, щільність, знизити їхню водопроникність, змінити консистенцію глинистих порід.

2.1 МЕТОДИ ТЕХНІЧНОЇ МЕЛІОРАЦІЇ ҐРУНТІВ

За механізмом впливу методи меліорації можна підрозділити на механічні, фізичні, фізико-хімічні, хімічні методи.

Механічні методи спрямовані на підвищення щільності ґрунтів і зменшення їхньої пористості. Вони включають укочування, трамбування, віброущільнення, використання ґрунтонабивних паль, сейсмічної енергії вибуху.

Фізичні методи справляють вплив на дисперсні породи температурних полів – випал і заморожування.

Фізико-хімічні методи застосовують в основному для поліпшення властивостей пилувато-глинистих і піщано-глинистих ґрунтів шляхом впливу на них електричного струму і добавки невеликих доз реагентів, що змінюють обмінну здатність ґрунтів, їхнього солонцювання, введення гранулометричних добавок.

Хімічні методи спрямовані на омонолічування ґрунту, що досягається введенням в нього органічних в'язучих (бітуму, карбамідних та інших полімерів), закачування цементного розчину, силікатизації (введення рідкого скла і додаткових реагентів).

При виборі методів зміни властивостей ґрунту в необхідному напрямку треба враховувати клас структурних зв'язків, генетичний тип і найважливіші властивості змінюваних порід.

2.2 МЕЛІОРАЦІЯ ПОРІД ІЗ ЖОРСТКИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ

Цементацию використовують для ущільнення тріщинуватих скельних порід, для чого в них під тиском нагнітається цементний розчин. Твердіючи в порожнинах і тріщинах породи, він додає їй монолітності і водонепроникності. Склад цементу підбирають з урахуванням агресивності підземних вод.

При наявності в тріщинах і порожнинах великої кількості глинистих продуктів вивітрювання цементациї повинно передувати промивання тріщин чистою водою. Промивання і наступне закачування цементуючого розчину здійснюється через свердловини, що закладаються по контуру майбутньої споруди або на площі, в межах якої потрібно створити в породі монолітний масив. Кількість свердловин і відстань між ними розраховують виходячи з радіуса впливу однієї свердловини.

Використання цементації можливо в породах при ширині тріщин не менше 0,15–0,2 мм і питомому водопоглиненні в межах 0,05–10 л/хв.

Глинизація використовується для забезпечення водонепроникності породи при наявності в ній великих каверн і тріщин. Через спеціальні свердловини в породу подається глинистий розчин, в який звичайно додають спеціальні коагулятори для прискорення осідання глинистих часток.

Найкращі результати глинизація дає в безводних тріщинуватих і закарстованих вапняках при проходці шахт, тунелів, спорудженні водоймищ.

Гаряча бітумізація використовується для ущільнення тріщинуватих і кавернозних скельних порід в умовах великих швидкостей руху підземних вод, при яких цементний і глинистий розчин вимиваються з породи. Розплавлений бітум, нагрітий до температури 200–2200°C, нагнітають через спеціальні свердловини, причому при підтриманні безперервного струму гарячої маси бітум може поширюватися по тріщинах на значні відстані від свердловини, твердіючи при охолодженні і додаючи породі монолітність. Застосовується при наявності в породах тріщин шириною більше 1 мм при гідротехнічному і промисловому будівництві, забезпечуючи стійкість до агресивного впливу вод.

Твердіючі піноутворювачі використовують для омонолічування тріщинуватих порід основ споруд в умовах складного рельєфу. Прикладом використання таких технологій є закріплюючі роботи, проведені в крейдо-мергельних породах на правому березі р. Сіверський Донець в районі Святогорського монастиря (м. Слов'яногірськ).

2.3 МЕЛІОРАЦІЯ ПОРІД БЕЗ ЖОРСТКИХ ЗВ'ЯЗКІВ

Ущільнення ґрунту шляхом зниження його пористості за рахунок додатку зовнішніх навантажень здійснюють різними способами.

Укочування, що проводиться пошарово, забезпечує поверхневе ущільнення ґрунту.

Трамбування, що здійснюється шляхом послідовного багаторазового падіння трамбівки значної маси, приводить до зміни фізичних характеристик і підвищення несучої здатності ґрунту на глибину 2 м. При використанні спеціальних надважких механізмів глибина впливу може зрости в кілька разів.

Віброущільнення застосовують для підвищення стійкості й міцності пухких незв'язних ґрунтів за рахунок перебудови їх структури, більш щільного укладання зерен, зниження пористості і збільшення внутрішнього тертя. Віброущільнення може бути поверхневим або глибинним. У другому випадку вібратор працює на глибині, що досягає декількох метрів, порожнини, що утворюються, заповнюють піском.

Для створення підвищеної несучої здатності ґрунту на всю глибину впливу споруди використовують ущільнення ґрунтонабивними палями. При цьому пройдені в слабкому ґрунті свердловини великого діаметра заповнюють вологим піском, який додатково ущільнюють. Цей глибинний метод меліорації використовують при будівництві на просадних лесових, торф'яно-мулистих та інших пухких ґрунтах.

Термічне зміцнення просадних лесових ґрунтів (випал) здійснюють шляхом впливу на породу гарячими газами або при спалюванні пального в свердловині. При цьому ґрунт перетворюється в міцний штучний камінь (черепок).

Заморожування ґрунтів проводять шляхом створення навколо котловану або будівельного майданчика поля низьких негативних температур. Тимчасове зміцнення ґрунту відбувається за рахунок утворення з поверхні до заданої глибини льодогрунтової стінки. Метод широко застосовується для закріплення пливунних порід, а також при проходці піщаних і лесових порід.

Силікатизація ґрунтів проводиться з метою їхнього зміцнення. Виконується шляхом послідовного введення через свердловину в ґрунт рідкого скла (силікату натрію) і хлористого кальцію, що приводить до утворення силікатів кальцію і цементної породи. При меліорації лесів застосовують однорозчинну силікатизацію.

Холодна бітумізація використовують для зниження водопроникності пісків. Здійснюється шляхом уведення бітумної емульсії в ґрунт через свердловини. У результаті коагуляції відбувається заповнення пор у піщаному ґрунті частками бітуму.

Електродренаж застосовують для зневоднювання порід з малою водовіддачею. Здійснюють його шляхом пропуску постійного струму через пливунні породи. Це викликає рух води від аноду до катоду, а твердих часток колоїдної розмірності в зворотному напрямку – до аноду, таким чином відбувається зневоднювання ґрунту.

Група фізико-хімічних методів впливу на глинисті ґрунти шляхом введення невеликих доз різних добавок, що змінюють їхню обмінну здатність, забезпечує диспергацію, агрегацію, кольматацію, гідрофобізацію або солонцювання ґрунтів.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95) Ґрунти. Класифікація. – Київ: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997.
2. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти: Підручн. / М.Л. Зоценко та ін. – Полтава: ПНТУ, 2003. – 446 с.
3. Инженерная геология: Учеб. для строит. спец. вузов / В.П. Ананьев, А.Д. Потапов. – М.: Высш. школа, 2005. – 575 с.
4. Інженерно-геологічні властивості гірських порід та штучних ґрунтів/ Навчально-методичний посібник з дисципліни “Прикладна літоекологія і радіоекологія” (для студентів 3 курсу денної і 4 курсу заочної форми навчання спеціальності 6.070800 “Екологія та охорона навколишнього середовища”) Укл. Свіренко Л.П., Бригінець К.Д., Дядін Д.В. – Харків: ХНАМГ, 2004. – 58 с.
5. Швецов Г. И. Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты: Учебн. – М.: Высш. школа, 1987.
6. Sarsby R. Environmental Geotechnics. – London: Thomas Telford Publishing, 2000
7. Environmental Geology / Handbook of Field Methods and Case Studies. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007

Навчальне видання

ДЯДІН Дмитро Володимирович

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«ІНЖЕНЕРНІ АСПЕКТИ ЛІТОЕКОЛОГІЇ»
(для студентів 4 курсу денної форми навчання
за напрямом підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього
середовища та збалансоване природокористування»)

Відповідальний за випуск *В. М. Ладигенський*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2012, поз. 38Л

Підп. до друку 31.05.2013 р.	Формат 60×84/16
Друк на різнографі	Ум. друк. арк. 1,6
Зам. №	Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011 р.